

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-150025  
(43)Date of publication of application : 02.06.1998

ato

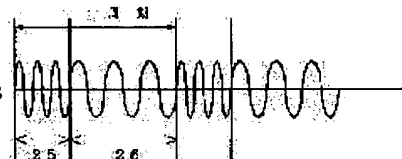
(51)Int.Cl. H01L 21/3065  
C23F 4/00  
H05H 1/46

(21)Application number : 08-309141 (71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP  
(22)Date of filing : 20.11.1996 (72)Inventor : OGINO MASARU  
MARUYAMA TAKAHIRO

**(54) PLASMA REACTOR****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a plasma reactor which reduces abnormalities in the change up shape at the time of dry etching and can extend etching parameters for improving etching performance such as uniformity and workability.

**SOLUTION:** An RF power periodically alters. One cycle is composed of a first and a second sub-cycles 25 and 26 of different frequency. The frequency of the RF power in the first sub-cycle 25 is higher than that of the second sub-cycle. Accumulation of change caused in the first sub-cycle 25 in which a high-frequency RF power is applied can be reduced in the second sub-cycle to which a low-frequency RF power is applied. Reduction in etching rate which is a problem in the case of application of only a low-frequency RF power can be also compensated by application of the high-frequency RF power in the first sub-cycle 25.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the cross section showing the efficient consumer response etching system concerning the gestalt 1 of implementation of this invention.

[Drawing 2] It is the graph which shows the wave of RF power about the gestalt 1 of implementation of this invention.

[Drawing 3] It is the graph which shows the wave of RF power about the gestalt 2 of implementation of this invention.

[Drawing 4] It is the timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of pulse-sized RF power.

[Drawing 5] It is the timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of pulse-sized RF power.

[Drawing 6] It is the timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of pulse-sized RF power.

[Drawing 7] It is the timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of RF power about the gestalt 3 of implementation of this invention.

[Drawing 8] It is the timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of RF power about the gestalt 4 of implementation of this invention.

[Drawing 9] It is the graph which shows the wave of the voltage V about the gestalt 5 of implementation of this invention.

[Drawing 10] It is the graph which shows the initial-phase dependency of the amount of notches.

[Drawing 11] It is the graph which shows the initial-phase dependency of a selection ratio.

[Drawing 12] It is the graph which shows the initial-phase dependency of CD gain.

[Drawing 13] It is a cross section explaining CD gain.

[Drawing 14] It is the graph which shows the initial-phase dependency of an etching rate.

[Drawing 15] It is the cross section showing the efficient consumer response etching system concerning the gestalt 6 of operation.

[Drawing 16] It is the graph which shows potential change of a stage 6 to an initial phase.

[Drawing 17] It is the graph which shows the potential of the stage 6 at the time of impressing RF power continuously.

[Drawing 18] It is the graph which shows the wave of RF power about the gestalt 7 of implementation of this invention.

[Drawing 19] It is the graph which shows the relation between a time delay  $t_0$  and the amount of notches.

[Drawing 20] It is the cross section showing the conventional efficient consumer response etching system.

[Drawing 21] It is a cross section explaining the abnormalities in a charge-up configuration.

[Drawing 22] It is a cross section explaining the abnormalities in a charge-up configuration.

[Description of Notations]

2 A reaction chamber, 6 A stage, 7 A wafer, 19 mu wave, 284a, 284b, 275a, 275b The sub period of the 1st sort, 274a, 274b, 285a, 285b The sub period of the 2nd sort, alpha Initial phase.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to a plasma reactor, especially a dry etching system.

[0002]

[Description of the Prior Art] Drawing 20 is the cross section showing notionally the efficient consumer response (Electron CycrotronResonance) etching system which is a kind of conventional plasma treatment equipment. RF power which plasma is generated by the mu wave 19 from process gas, and plasma is sent to a reaction chamber 2, and is obtained from RF electric power supply means 8 at the plasma production room 1 -- with, the wafer 7 by which bias was carried out is exposed to this plasma

[0003] When controlling the etching process of an efficient consumer response etching system, various parameters exist, for example, the method of the configuration and position of the efficient consumer response side 5 (these are dependent also on the magnetic field given with a coil 4), RF power, the mu wave 19, and the electrostatic chuck of a wafer 7, the pressure of process gas, etc. are mentioned.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] With high integration of a device, and detailed-izing, realization of a high anisotropy, high selectivity, and high homogeneity of etching is becoming still more difficult, and only with the etching parameter which exists now, when insufficient, there is often. As a trouble which is becoming remarkable and which checks detailed-ization, the abnormalities ("the abnormalities in a charge-up configuration" is called below) of the etching configuration which considers a charge up as a cause are mentioned in recent years.

[0005] Drawing 21 and drawing 22 are the expanded sectional views explaining the abnormalities in a charge-up configuration near the front face of the semiconductor wafer 101. The ion at the time of both drawings performing detailed pattern etching of the semiconductor wafer 101 using plasma etching (shown by + surrounded by O in drawing) and electronic (shown by - surrounded by O in drawing) behavior are shown.

[0006] It sets to drawing 21 and is SiO<sub>2</sub> in the front face of the semiconductor wafer 101. The film 13, the Si film 14, and the resist pattern 15 are formed one by one, and etching is performed by using the resist pattern 15 as a mask. Electrical neutrality is maintained in order to carry out incidence of both ion and the electron to the front face of the resist pattern 15 with advance of etching.

[0007] In the detailed pattern 16, in order to carry out incidence of the ion perpendicularly to the front face of the semiconductor wafer 101, it does not collide with the side attachment wall 17 of the detailed pattern 16, but reaches even on the base 18 of the detailed pattern 16. On the other hand, since an electron does not have directivity and carries out incidence also to a side attachment wall 17, it stops being able to arrive at a base 18 easily.

[0008] Electrical neutrality is maintained, in order for the electron which carried out incidence to recombine and to neutralize it in the Si film 14 on the ion which carried out incidence to the base 18, and a side attachment wall 17, when \*\*\*\*\*ing a conductive film like the Si film 14, as shown in drawing 21. However, as shown in drawing 22, etching advances and a base 18 moves caudad, and it is SiO<sub>2</sub>. If an insulating film like a film 13 is exposed, the ion which carried out incidence to the base 18 will not be neutralized with the electron which carried out incidence to the side attachment wall 17, but the charge up of the base 18 will just be carried out. On the other hand, the charge up of the side attachment wall 17 is carried out to negative by the electron which carried out incidence.

[0009] Therefore, since an orbit is bent with rebounding of the positive charge in the base 18 which just carried out the charge up, and the attraction in the side attachment wall 17 which carried out the charge up to negative, the ion which carries out incidence to a base 18 will carry out incidence of the ion to the interface of the Si film 14 and SiO<sub>2</sub> film 13 locally, and will produce the so-called notch (the amount (the amount of notches) is shown all over [ A ] drawing) of a notching configuration.

[0010] As a method of reducing such abnormalities in a charge-up configuration, the method of making the mu wave 19 and RF power pulse-ize (repeating ON/OFF) is advocated. for example, these any -- although -- the period of ON may think that the usual electric discharge has taken place, and the charge up of a detailed pattern advances However, the difference of the directivity of ion and an electron is lost in the period of either OFF, incidence also of the electron can be carried out now to a base 18, and a charge up is canceled. That is, the charge up which advanced during the ON is canceled during the OFF.

[0011] Such control of the movement of a charged particle is important also for not only the dissolution of the abnormalities in a configuration but a selection ratio, or homogeneous control. However, the method is restricted, and the conventional mu

wave 19 and pulse-ization of RF power need to extend the method of pulse-izing more than now, in order to be control of a more extensive etching parameter.

[0012] It aims at offering the plasma reactor which can extend the etching parameter for being made in order that this invention may solve the above troubles, reducing the abnormalities in a charge-up configuration in dry etching, and raising etching performances, such as selectivity, homogeneity, and processability.

[0013]

[Means for Solving the Problem] It is the plasma reactor equipped with the stage where RF power by which FM modulation was carried out is impressed, and the reaction chamber where the plasma exposed to the sample laid on the aforementioned stage exists which starts a claim 1 among this invention.

[0014] The stage where, as for what starts a claim 2 among this invention, RF power is impressed, It is a plasma reactor equipped with the reaction chamber where the plasma exposed to the sample laid on the aforementioned stage exists. The aforementioned RF power is changed periodically, the amplitude of the aforementioned RF power differs mutually the round term, it is constituted by the sub period of the 1st sort and the 2nd sort of plurality [ all ], and, as for each of the sub period of the 1st sort of the aforementioned plurality, the periods differ mutually.

[0015] It is the plasma reactor equipped with the stage where RF power is impressed, and the reaction chamber where the plasma exposed to the sample laid on the aforementioned stage exists which starts a claim 3 among this invention, and the aforementioned RF power presents the wave intermittently superimposed on the alternating current wave which had a predetermined initial phase to the direct-current value.

[0016] It is the plasma reactor according to claim 3 which starts a claim 4 among this invention, and the aforementioned plasma is generated by mu wave supplied intermittently.

[0017]

[Embodiments of the Invention]

Gestalt 1. drawing 1 of operation is a cross section which is a plasma reactor concerning the gestalt 1 of implementation of this invention and in which showing an efficient consumer response etching system notionally. The chamber of an efficient consumer response etching system has the composition divided roughly into the plasma production room 1 and a reaction chamber 2. In a chamber, reactant process gas is introduced from an inlet 81, and it is exhausted from an exhaust port 82, and a predetermined pressure is maintained. In a chamber, it passes along a waveguide from mu wave power supply 80, and the 2.45GHz microwave 19 is introduced through the introductory aperture 3.

[0018] Since a magnetic field is impressed in a chamber with a coil 4, the efficient consumer response resonance region (efficient consumer response side) 5 exists in the plasma production room 1, and efficient consumer response plasma occurs. Since the magnetic field formed with a coil 4 is emitted from the plasma production room 1 to a reaction chamber 2, efficient consumer response plasma is conveyed to the wafer 7 installed on the stage 6. Etching to a wafer 7 is performed by this efficient consumer response plasma.

[0019] In addition, the RF power supply 30 is connected to the stage 6 in which a wafer 7 is laid, RF power is supplied to it in a mode which is mentioned later, and etching is performed. Moreover, a wafer 7 contacts a stage 6 by the electrostatic chuck which has a power supply 9, and is cooled.

[0020] Drawing 2 is a graph which shows the wave of RF power which the RF power supply 30 generates. As for RF power used in the gestalt 1 of operation, pulse modulation of the frequency of RF power is carried out. RF power changes periodically and the round term is constituted by the 1st and 2nd sub periods 25 and 26 from which frequency differs mutually. The frequency of RF power [ in / the 1st sub period 25 / at the example shown in drawing 2 ] is higher than it in the 2nd sub period.

[0021] Generally, when the frequency of RF power is high, auto-bias voltage becomes large. For this reason, an ion energy becomes large and can earn an etching rate greatly. Since the directivity to which ion progresses is large on the other hand, the grade of a charge up increases.

[0022] On the contrary, while auto-bias voltage becomes small and a charge up is suppressed at the time of a low, the frequency of an etching rate of RF power is low, and cannot take an anisotropy greatly. Therefore, generally impressing only RF power of low frequency continuously is not put in practical use.

[0023] With the gestalt of this operation, high RF power of frequency and RF power of low frequency are impressed to a shift. Therefore, accumulation of the charge produced in the 1st sub period 25 which impresses RF power of high frequency can be eased the 2nd sub period 26 which impresses RF power of low frequency. It is effective in the ability to ease because the fall of the etching rate which poses a problem when impressing only RF power of low frequency also impresses RF power of high frequency in the 1st sub period 25 with this.

[0024] gestalt 2. of operation -- even if signs that RF power of high frequency and RF power of low frequency are impressed to a shift are not a pulse-like, the same effect as the gestalt 1 of operation can be acquired If frequency carries out even change, it will be because the change does not necessarily need to be steep.

[0025] Drawing 3 is a graph which shows the wave of RF power about the gestalt 2 of implementation of this invention. The efficient consumer response etching system shown in drawing 1 also in the gestalt 2 of operation is used. RF power is presenting the wave by which it changed periodically, and the frequency of RF power was changed in the state where an amplitude is fixed at the round term, namely, FM modulation was carried out. Also in this case, it is clear that the above-mentioned effect can be acquired.

[0026] The technology of impressing RF power to a wafer 7 in the shape of a pulse from the gestalt 3. former of operation

was known. This is the technology of earning the etching rate in the period which RF power turns on, and canceling in the period when RF power turns off the charge accumulated in this period.

[0027] Drawing 4 is a timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups (intensity of the partial electric field produced by the charge up) to be the ON/OFF period of the pulse-ized conventional RF power. The period T1 of RF power which changes periodically is mutually constituted by the equal ON period 271 and the OFF period 281 of a period.

[0028] Although accumulation of a charge will be canceled if the OFF period 281 is long, since plasma disappears and etching does not progress in the meantime, the etching rate as the whole etching period becomes low. And a charge is accumulated, and since the period which is carrying out the charge up is long, it is easy to produce the abnormalities in a configuration, until it reaches a saturation value in that case, since the ON period 271 is also long.

[0029] Drawing 5 is a timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of RF power which has the period T2 which made the ON period 272 and the OFF period 282 shorter than the ON period 271 and the OFF period 281, in order to avoid the problem at the time of being shown in drawing 4. In this case, the accumulated dose of the charge in the ON period 272 is suppressed, and it is hard to cause the abnormalities in a configuration. However, since the ON period 272 expires before auto-bias potential becomes sufficiently large, an etching rate compares with the case where it is shown in drawing 4, and it is a low.

[0030] Drawing 6 is a timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of RF power which has the period T3 which made the period of the ON period 273 longer than the OFF period 283, in order to avoid the problem at the time of being shown in drawing 5. If it does in this way, elevation of auto-bias potential cannot be spoiled, but an etching rate can be earned in the ON period 273. However, in the OFF period 283, accumulation of a charge cannot fully be canceled, but a charge will be accumulated to a saturation content in several round term.

[0031] Drawing 7 is a timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of RF power about the gestalt 3 of implementation of this invention. The efficient consumer response etching system shown in drawing 1 also in the gestalt 3 of operation is used.

[0032] RF power used in the gestalt 3 of operation is changed periodically, and the period T4 is constituted by the sub periodic group 284 of the 1st sort and the 2nd sort sub periodic group 274 from which an amplitude differs mutually. An amplitude is zero, the sub periodic group 284 of the 1st sort consists of sub periods 284a and 284b (all are OFF periods) of the 1st sort from which a period differs mutually, and the sub periodic group 274 of the 2nd sort consists of an amplitude and sub periods 274a and 274b (all are ON periods) of the 2nd equal sort of a period for it. These sub periods 274a, 284a, 274b, and 284b appear in a shift at this order.

[0033] As mentioned above, if the PCM (Pulse Code Modulation) modulation is carried out and the ON/OFF puts in another way, RF power has the fixed period of ON, and the period of OFF will become long periodically or it will be short.

[0034] Thus, since two OFF periods 284a and 284b of different length in the period T4 to which RF power is changed were formed, while easing a charge up in the period of the longer one of it, the fall of an etching rate can be suppressed by shortening the period of another side. If it puts in another way, the effect that a charge up is small as compared with the case where it is shown in drawing 4, and an etching rate is high as compared with the case where it is shown in drawing 5 will be acquired.

[0035] Not an OFF period but ON period may have a period which is different when changing the gestalt 4. RF power of operation periodically. Drawing 8 is a timing chart which indicates a relation with the amount of charge ups to be the ON/OFF period of RF power about the gestalt 4 of implementation of this invention. The efficient consumer response etching system shown in drawing 1 also in the gestalt 4 of operation is used.

[0036] The period T5 of RF power is constituted by the 1st sort sub periodic group 275 and the sub periodic group 285 of the 2nd sort from which an amplitude differs mutually. Consisting of sub periods 275a and 275b (all are ON periods) of the 1st sort from which as for the sub periodic group 275 of the 1st sort an amplitude is equal and a period differs, an amplitude is zero and the sub periodic group 285 of the 2nd sort consists of equal sub periods 285a and 285b (all are OFF periods) of the 2nd sort of a period mutually. These sub periods 275a, 285a, 275b, and 285b appear in a shift at this order.

[0037] As mentioned above, if the PWM (Pulse Width Modulation) modulation is carried out and the ON/OFF puts in another way, RF power has the fixed period of OFF, and the period of ON will become long periodically or it will be short.

[0038] Thus, since two ON periods 275a and 275b of different length in the period T5 to which RF power is changed were formed, while easing a charge up in the period of the shorter one of it, the fall of an etching rate can be suppressed by lengthening the period of another side. If it puts in another way, the effect that a charge up is small as compared with the case where it is shown in drawing 4, and an etching rate is high as compared with the case where it is shown in drawing 5 will be acquired.

[0039] Gestalt 5. drawing 9 of operation is a graph which shows the wave of RF power about the gestalt 5 of implementation of this invention. The efficient consumer response etching system shown in drawing 1 also in the gestalt 5 of operation is used. However, it the RF power supply 30 not only performs modulation of RF frequency, and pulse-ON/OFF, but has the composition which can also perform superposition of a dc component. This composition is realizable using an arbitrary waveform generator and high-speed wide band power amplifier.

[0040] If the time of the start of ON period of the pulse of RF component is set to  $t=0$ , the voltage impressed to the output side of the RF power supply 30 can be expressed with  $V=A\sin(\omega t+\alpha)+V_0$ . Here, for A, the amplitude of RF power and  $\omega$  of the angular frequency of RF power and  $\alpha$  are [ an initial phase and  $V_0$  ] the central value (dc component) of voltage. For example, if  $V_0=-A\sin(\alpha)$ , the voltage V at the time of a start will serve as zero.

[0041] Drawing 9 (a) - (d) shows the voltage V of RF power in  $\alpha = 0$  degree, 90 degrees, 180 degrees, and 270 degrees, respectively. However, as for RF component, only the round term exists in ON period of a pulse. When RF component is overlapped in the shape of a pulse to a dc component, changing the initial phase  $\alpha$  of the RF component has RF power effective for reduction of a charge up, or control of a selection ratio.

[0042] Drawing 10 is a graph which shows the initial-phase dependency of the amount of notches. Although the amount of notches is reduced by impression of pulse-RF as compared with the case (it expresses as a drawing destructive line) where RF power is not impressed, the amount of reduction changes with values of an initial phase  $\alpha$ . For example, although ion is accelerated by impression of RF power in the direction of a substrate when an initial phase  $\alpha$  is 90 degrees, an electron is slowed down and the electron current decreases. For this reason, although char JINGU of the side attachment wall of a pattern is reduced, the positive charge in a pars basilaris ossis occipitalis is not canceled, but the improvement effect of a notch is a low. On the other hand, since electronic slowdown electric field become weaker when an initial phase  $\alpha$  is 270 degrees, charge of a pattern pars basilaris ossis occipitalis is reduced, and a notch is improved sharply.

[0043] Drawing 11 is a graph which shows the initial-phase dependency of a selection ratio. if it compares with the case (it expresses as a drawing destructive line) where RF power is not impressed -- impression of pulse-RF -- a selection ratio -- decreasing (it getting worse) -- the amount of reduction changes with values of an initial phase  $\alpha$ . For example, when an initial phase is 90 degrees, there are most amounts of reduction, and when an initial phase  $\alpha$  is 270 degrees, the amount of reduction is suppressed.

[0044] That is, in the voltage V of the range which RF component superimposes, an initial phase  $\alpha$  is especially set as 180 degrees - 360 degrees desirably at 270 degrees to make the amount of notches, and a selection ratio good so that the direction of the field which serves as positive from a dc component may become larger than the field which serves as negative from a dc component.

[0045] Drawing 12 is a graph which shows the initial-phase dependency of CD gain (Critical Dimension Gain). Drawing 13 is a cross section explaining CD gain. The etched film 102 prepared on the substrate 101 \*\*\*\*\*s considering a resist 103 as a mask. If width of face of a resist 103 and width of face of the pars basilaris ossis occipitalis of the etched film 102 are set to  $t_1$  and  $t_2$  here, respectively, CD gain will be searched for by  $t_2 - t_1$ . Although CD gain is improved by impression of pulse-RF as compared with the case (it expresses as a drawing destructive line) where RF power is not impressed, the improvement factor changes with values of an initial phase  $\alpha$ . For example, when an initial phase  $\alpha$  is 90 degrees, it is improved most, and the improvement factor at the time of 270 degrees is a low.

[0046] Drawing 14 is a graph which shows the initial-phase dependency of an etching rate. Although an etching rate increases by impression of pulse-RF as compared with the case (it expresses as a drawing destructive line) where RF power is not impressed, the amount of increases changes with values of an initial phase  $\alpha$ . For example, when an initial phase is 90 degrees, there are most amounts of increases, and when an initial phase  $\alpha$  is 270 degrees, there are few amounts of increases.

[0047] That is, in the voltage V of the range which RF component superimposes, an initial phase  $\alpha$  is especially set as 0 degree - 180 degrees desirably at 90 degrees to make CD gain and an etching rate good so that the direction of the field which serves as positive from a dc component may become smaller than the field which serves as negative from a dc component.

[0048] A desired etching property can be acquired by controlling an initial phase  $\alpha$  so that the above explanation may show. Moreover, it is effective for control of a charge up, a selection ratio, CD gain, an etching rate, etc. similarly to change initial voltage  $V_0$ .

[0049] The gestalt 6.RF power of operation may contain the period of plurality [ component / RF ], when RF component is overlapped in the shape of a pulse to a dc component.

[0050] Drawing 15 is the cross section showing the efficient consumer response etching system used in the gestalt 6 of operation. As compared with the composition shown in drawing 1, it differs in that the RF power supply 30 is connected to the stage 6 through the blocking capacitor 29.

[0051] Drawing 16 (a) and (b) are graphs which show potential change of a stage 6, respectively about the time of initial phases  $\alpha$  being 0 degree and 90 degrees, when several k of a period is 2.

[0052] Since the stage 6 is connected to the RF power supply 30 through the blocking capacitor 29, in the period which does not impress RF power, the potential of a stage 6 takes the floating potential  $V_f$ . Drawing 17 is a graph which shows the potential of the stage 6 at the time of impressing RF power continuously. The amount in which the maximum of the potential of a stage 6 exceeds the floating potential  $V_f$  has less minimum value than the amount which is less than the floating potential  $V_f$ . The dependency over an initial phase  $\alpha$  becomes low, and potential change of a stage 6 approaches the graph of drawing 17 as several k of a period increases. That is, the number of times which draws ion in a stage 6 increases. Therefore, according to several k of a period increasing [ an initial phase  $\alpha$  ], in being the same, an ion energy increases, the amount of notches decreases, and a selection ratio also falls.

[0053] Thus, by setting up several k and the initial phase  $\alpha$  of a period in the period which RF power turns on in the shape of a pulse, it becomes possible to control the amount of notches, and a selection ratio. Of course, although it is also possible to control an ion energy only by setting up the voltage or power even if it is the case where RF power is impressed continuously, it becomes possible by adjusting several k and the initial phase  $\alpha$  of a period to perform still finer control.

[0054] Gestalt 7. drawing 18 of operation is a graph which shows the wave of RF power about the gestalt 7 of implementation of this invention. The efficient consumer response etching system shown in drawing 15 also in the gestalt 7 of operation is used. However, mu wave power supply 80 generates the mu (intermittently) wave 19 in the shape of a pulse.

[0055] the amount of notches can be reduced by introducing the mu wave 19 into a plasma reactor in the shape of a pulse -- Jpn.J.Appl.Phys.35(1996) p2450 etc. -- it is shown With the gestalt of this operation, RF power of the shape of a pulse it not only generates plasma, but shown with the gestalt 5 of operation and the gestalt 6 of operation using mu wave of the shape of such a pulse is given to a stage 6. With the combination of such two technology, the effect of an improvement (for example, reduction of the amount of notches) of an etching property increases remarkably.

[0056] Drawing 18 is a timing chart which shows the relation between the mu wave 19 and RF power. By controlling the time  $t_0$  being delayed from the time of the mu wave 19 beginning to turn on intermittently, the time of RF component beginning to be overlapped on a direct-current value (here floating potential  $V_f$ ) becomes possible [ controlling a very small ion energy ] at the same time the amount of notches is controllable. Drawing 19 is a graph which shows the relation between a time delay  $t_0$  and the amount of notches. The period when T (duty 50%) and RF component superimpose mu wave period on a direct-current value here is set to tau ( $\alpha = 0$  degree of initial phases). If it sets up near [ in the end of the period when mu wave turns off the timing which superimposes RF component on a direct-current value ] so that a graph may show, the effect of reducing the amount of notches is remarkable.

[0057] When plasma density becomes thin in this timing and plasma density is thin, there are also few electronic amounts. Therefore, if there is no difference in the power of RF component, the power given to one electron will become the largest. For this reason, the effect which enters into the pars basilaris ossis occipitalis of a pattern, and offsets a charge will be acquired most notably.

[0058] Although explanation was given about the efficient consumer response etching system in the gestalt of the above operation, RF power of application of this invention which is not limited to this and impressed to a sample is effective in all the etching systems (for example, etching system which adopted ICP:Induced Coupled Plasma) by which plasma is generated separately. Of course, control of the frequency of RF power or voltage cannot be overemphasized by that it is effective in the amount of notches, and control of an ion energy.

[0059]

[Effect of the Invention] According to the plasma reactor applied to a claim 1 among this invention, RF power can ease accumulation of the charge which RF power produced in the period which has high frequency in the period which has low frequency. With this, when impressing only RF power of low frequency, RF power can ease the fall of the etching rate which poses a problem in the period which has high frequency.

[0060] According to the plasma reactor applied to a claim 2 among this invention, the sub period of the 1st sort can suppress the fall of an etching rate in the period of another side at a round term to which RF power is changed, easing a charge up in the period of one of these, since length differs mutually.

[0061] By setting an initial phase as 180 degrees - 360 degrees, in the range which RF component superimposes, the direction of the field which serves as positive from a dc component becomes larger than the field which serves as negative from a dc component, and, according to the plasma reactor applied to a claim 3 among this invention, can make the amount of notches, and a selection ratio good. Moreover, by setting an initial phase as 0 degree - 180 degrees, in the range which RF component superimposes, the direction of the field which serves as positive from a dc component becomes smaller than the field which serves as negative from a dc component, and can make CD gain and an etching rate good.

[0062] When the amount of notches can be reduced by introducing mu wave into a plasma reactor intermittently according to the plasma reactor applied to a claim 4 among this invention, since RF power is also intermittently given to a stage, the effect of an improvement of an etching property increases remarkably.

---

[Translation done.]

US20020066537A N/A

1997US-0848881

May 1,

1997

1

INT-CL (IPC): B44C001/22; C23C016/00 ; C23F001/00 ;  
C23F001/02 ;  
C23F004/00 ; H01L021/302 ; H01L021/3065 ; H01L021/31 ;  
H05H001/46

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 10150025A

BASIC-ABSTRACT: The plasma chamber includes a reaction chamber (2) comprising a stage (6) Over which a sample is mounted. RF electric power by which frequency modulation is done, is applied to the stage. The RF power is varied periodically. The amplitude of the RF power differs mutually between the first and second sub periods.

ADVANTAGE - Improves selection ratio. Improves CD gain and etching rate.  
Increases effect of washing characteristics.

ABSTRACTED-PUB-NO: US20020066537A

EQUIVALENT-ABSTRACTS: The plasma chamber includes a reaction chamber (2) comprising a stage (6) Over which a sample is mounted. RF electric power by which frequency modulation is done, is applied to the stage. The RF power is varied periodically. The amplitude of the RF power differs mutually between the first and second sub periods.

ADVANTAGE - Improves selection ratio. Improves CD gain and etching rate.  
Increases effect of washing characteristics.



CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/22

TITLE-TERMS:

PLASMA REACTOR DRY ETCH APPARATUS APPLY RF  
ELECTRIC POWER PERIODIC VARIATION  
ROUND PERIOD COMPRISE TWO SUB PERIOD MUTUAL  
FREQUENCY DIFFER

ADDL-INDEXING-TERMS:

ECR

DERWENT-CLASS: L03 P78 U11 V05 X14

CPI-CODES: L04-C07D; L04-D;

EPI-CODES: U11-C07A1; U11-C09C; V05-F05C1; V05-F08E1;  
X14-F02;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1998-113705

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1998-292871

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-150025

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

B

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

A

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平8-309141

(22) 出願日

平成8年(1996)11月20日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 荻野 賢

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 丸山 隆弘

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

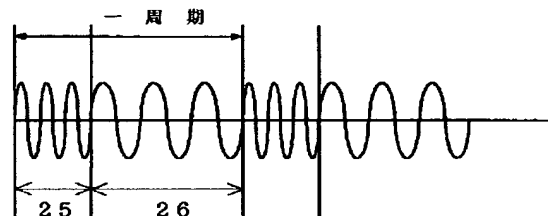
(74) 代理人 弁理士 吉田 茂明 (外2名)

(54) 【発明の名称】 プラズマ反応装置

(57) 【要約】

【課題】 ドライエッチングにおいてチャージアップ形状異常を低減し、また選択性、均一性、加工性などのエッチング性能を向上させるための、エッチングパラメータを拡張しうるプラズマ反応装置を提供する。

【解決手段】 R F電力は周期的に変化をし、その一周期は互いに周波数が異なる第1及び第2のサブ周期25、26によって構成されている。第1のサブ周期25におけるR F電力の周波数は第2のサブ周期におけるそれよりも高い。高い周波数のR F電力を印加する第1のサブ周期25において生じた電荷の蓄積を、低い周波数のR F電力を印加する第2のサブ周期26で緩和することができる。これと共に、低い周波数のR F電力のみを印加する場合に問題となるエッチングレートの低下も、第1のサブ周期25において高い周波数のR F電力を印加することで緩和できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 FM変調されたRF電力が印加されるステージと、

前記ステージ上に載置された試料に晒されるプラズマが存在する反応室とを備えるプラズマ反応装置。

【請求項2】 RF電力が印加されるステージと、

前記ステージ上に載置された試料に晒されるプラズマが存在する反応室とを備え、

前記RF電力は周期的に変動し、その一周期は互いに前記RF電力の振幅が異なり、いずれも複数の第1種及び第2種のサブ周期とによって構成され、

前記複数の第1種のサブ周期の各々は互いにその期間が異なるプラズマ反応装置。

【請求項3】 RF電力が印加されるステージと、

前記ステージ上に載置された試料に晒されるプラズマが存在する反応室とを備え、

前記RF電力は、直流値に対して所定の初期位相を持った交流波形が間欠的に重畳された波形を呈するプラズマ反応装置。

【請求項4】 前記プラズマは間欠的に供給される $\mu$ 波によって生成される、請求項3記載のプラズマ反応装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、プラズマ反応装置、特にドライエッチング装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図20は、従来のプラズマ処理装置の一種であるECR (Electron Cyclotron Resonance) エッチング装置を概念的に示す断面図である。プラズマ生成室1において、 $\mu$ 波19によってプロセスガスからプラズマが生成され、プラズマは反応室2に送られ、RF電力供給手段8から得られるRF電力を以てバイアスされたウエハ7がこのプラズマに晒される。

【0003】ECRエッチング装置のエッチングプロセスを制御する上で様々なパラメータが存在し、例えばECR面5の形状・位置（これらはコイル4によって与えられる磁界にも依存する）、RF電力、 $\mu$ 波19、ウエハ7の静電チャックの方法、プロセスガスの圧力などが挙げられる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】デバイスの高集積化、微細化に伴って、高異方性、高選択性、高均一のエッチングの実現はますます難しくなっており、現在存在するエッチングパラメータだけでは不足である場合もしばしばある。近年顕著になってきた、微細化を阻害する問題点としては、チャージアップを原因とするエッチング形状の異常（以下「チャージアップ形状異常」と称す）が挙げられる。

【0005】図21及び図22はチャージアップ形状異

常を説明する、半導体ウエハ101の表面近傍の拡大断面図である。両図共に、プラズマエッチングを用いて半導体ウエハ101の微細パターンエッチングを行う際における、イオン（図中○で囲まれた+で示される）及び電子（図中○で囲まれた-で示される）の挙動を示している。

【0006】図21において、半導体ウエハ101の表面には、 $\text{SiO}_2$ 膜13、 $\text{Si}$ 膜14及びレジストパターン15が順次形成されており、レジストパターン15をマスクとしてエッチングが行われる。エッチングの進行に伴って、レジストパターン15の表面にはイオンも電子も共に入射するため、電気的中性が保たれている。

【0007】微細パターン16内において、イオンは半導体ウエハ101の表面に対して垂直に入射するため、微細パターン16の側壁17には衝突せず微細パターン16の底面18にまで到達する。これに対して電子は方向性がなく、側壁17にも入射するため、底面18には到達し難くなる。

【0008】図21に示すように、 $\text{Si}$ 膜14のような導電性の膜をエッチングしている際には、底面18に入射したイオンと側壁17に入射した電子とは $\text{Si}$ 膜14中で再結合して中和するため、電気的中性が保たれる。ところが図22に示すように、エッチングが進行して底面18が下方に移動し、 $\text{SiO}_2$ 膜13のような絶縁性の膜が露出すると、底面18に入射したイオンは側壁17に入射した電子と中和されず、底面18は正にチャージアップしてしまう。一方、側壁17は入射した電子によって負にチャージアップする。

【0009】従って、底面18へ入射するイオンは、正にチャージアップした底面18における正電荷の反発と、負にチャージアップした側壁17における引力とにより軌道が曲げられるため、イオンは $\text{Si}$ 膜14と $\text{SiO}_2$ 膜13との界面に局所的に入射し、切り欠き形状のいわゆるノッチ（図中Aでその量（ノッチ量）が示される）を生じることになる。

【0010】このようなチャージアップ形状異常を低減させる方法として、 $\mu$ 波19やRF電力をパルス化（ON/OFFを繰り返すこと）させる方法が提唱されている。例えばこれらのいずれもがONの期間は通常の放電が起こっていると考えるとよく、微細パターンのチャージアップが進行する。しかし、いずれか一方がOFFの期間においてはイオンと電子との方向性の差が無くなり、電子も底面18まで入射することができるようになり、チャージアップが解消される。つまり、ONの期間中に進行したチャージアップがOFFの期間中に解消される。

【0011】このような、荷電粒子の動きの制御は、形状異常の解消だけでなく、選択比や均一性の制御にとっても重要である。しかし従来の $\mu$ 波19、RF電力のパルス化はその方法が限られており、より広範なエッチン

グパラメータの制御のためにはパルス化の方法を今以上に拡張する必要がある。

【0012】本発明は上記のような問題点を解決するためになされたものであり、ドライエッチングにおいてチャージアップ形状異常を低減し、また選択性、均一性、加工性などのエッチング性能を向上させるための、エッチングパラメータを拡張しうるプラズマ反応装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】この発明のうち請求項1にかかると、FM変調されたRF電力が印加されるステージと、前記ステージ上に載置された試料に晒されるプラズマが存在する反応室とを備えるプラズマ反応装置である。

【0014】この発明のうち請求項2にかかると、RF電力が印加されるステージと、前記ステージ上に載置された試料に晒されるプラズマが存在する反応室とを備えるプラズマ反応装置であって、前記RF電力は周期的に変動し、その一周期は互いに前記RF電力の振幅が異なり、いずれも複数の第1種及び第2種のサブ周期とによって構成され、前記複数の第1種のサブ周期の各々は互いにその期間が異なる。

【0015】この発明のうち請求項3にかかると、RF電力が印加されるステージと、前記ステージ上に載置された試料に晒されるプラズマが存在する反応室とを備えるプラズマ反応装置であって、前記RF電力は、直流値に対して所定の初期位相を持った交流波形が間欠的に重畳された波形を呈する。

【0016】この発明のうち請求項4にかかると、請求項3記載のプラズマ反応装置であって、前記プラズマは間欠的に供給される $\mu$ 波によって生成される。

【0017】

【発明の実施の形態】

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1にかかるプラズマ反応装置である。ECRエッチング装置を概念的に示す断面図である。ECRエッチング装置のチャンパーは、プラズマ生成室1と反応室2に大別される構成を有している。チャンパー内には導入口81から反応性のプロセスガスが導入され、また排気口82から排気され、所定の圧力が保たれる。チャンパーには $\mu$ 波電源80から導波管を通り、導入窓3を介して2.45GHzのマイクロ波19が導入される。

【0018】コイル4によってチャンパー内には磁界が印加される為、プラズマ生成室1にはECR共鳴領域（ECR面）5が存在し、ECRプラズマが発生する。コイル4によって形成される磁場はプラズマ生成室1から反応室2へと発散するので、ECRプラズマは、ステージ6上に設置されたウエハ7に輸送される。このECRプラズマによってウエハ7に対するエッチングが行われる。

【0019】なおウエハ7を載置するステージ6には、RF電力供給装置30が接続されており、後述するような態様でRF電力が供給されてエッチングが行われる。またウエハ7は電源9を有する静電チャックによりステージ6に接触し、冷却される。

【0020】図2はRF電力供給装置30が発生するRF電力の波形を示すグラフである。実施の形態1において用いられるRF電力は、RF電力の周波数がパルス変調される。RF電力は周期的に変化をし、その一周期は互いに周波数が異なる第1及び第2のサブ周期25、26によって構成されている。図2に示される例では、第1のサブ周期25におけるRF電力の周波数は第2のサブ周期におけるそれよりも高い。

【0021】一般にRF電力の周波数が高いとき、自己バイアス電圧が大きくなる。このためにイオンエネルギーが大きくなり、エッチングレートを大きく稼ぐことができる。その一方で、イオンの進む方向性が大きいため、チャージアップの程度は増大する。

【0022】逆に、RF電力の周波数が低いとき、自己バイアス電圧が小さくなってチャージアップは抑制される一方で、エッチングレートは低く、また異方性を大きく採ることはできない。従って低い周波数のRF電力のみを連続的に印加することは一般には実用化されていない。

【0023】本実施の形態では高い周波数のRF電力と、低い周波数のRF電力とが交代に印加される。よって高い周波数のRF電力を印加する第1のサブ周期25において生じた電荷の蓄積を、低い周波数のRF電力を印加する第2のサブ周期26で緩和することができる。これと共に、低い周波数のRF電力のみを印加する場合に問題となるエッチングレートの低下も、第1のサブ周期25において高い周波数のRF電力を印加することで緩和できるという効果がある。

【0024】実施の形態2. 高い周波数のRF電力と低い周波数のRF電力とが交代に印加される様子がパルス状でなくても実施の形態1と同様の効果を得ることができる。周波数が変化さえすれば、その変化が必ずしも急峻である必要はないためである。

【0025】図3はこの発明の実施の形態2に関するRF電力の波形を示すグラフである。実施の形態2においても図1に示されたECRエッチング装置が用いられる。RF電力は周期的に変化をし、その一周期において振幅が一定の状態でRF電力の周波数が変動しており、すなわちFM変調された波形を呈している。この場合においても、上記効果を得ることができるのは明白である。

【0026】実施の形態3. 従来からRF電力をパルス状にウエハ7に印加する技術は知られていた。これはRF電力がONする期間においてエッチングレートを稼ぐのでき、この期間において蓄積された電荷をRF電力が

OFFする期間において解消するという技術である。

【0027】図4は従来のパルス化されたRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量（チャージアップにより生じる局所電界の強度）との関係を示すタイミングチャートである。周期的に変化するRF電力の周期T1は、互いに期間の等しいON期間271及びOFF期間281によって構成される。

【0028】OFF期間281が長いと電荷の蓄積は解消されるが、その間はプラズマが消失し、エッチングが進まないでエッチング期間全体としてのエッチングレートが低くなる。しかもその場合にはON期間271も長い場合、飽和値に達するまで電荷が蓄積し、チャージアップしている期間が長い場合形状異常が生じ易い。

【0029】図5は図4に示された場合の問題を回避するために、ON期間272及びOFF期間282をON期間271及びOFF期間281よりも短くした周期T2を有するRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。この場合にON期間272における電荷の蓄積量が抑制されて形状異常は発生しにくい。しかし自己バイアス電位が十分大きくならない内にON期間272が終了するので、エッチングレートは図4に示される場合と比較して低い。

【0030】図6は図5に示された場合の問題を回避するために、ON期間273の期間をOFF期間283よりも長くした周期T3を有するRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。このようにすれば自己バイアス電位の上昇を損なわず、エッチングレートをON期間273において稼ぐことができる。しかし、OFF期間283において十分に電荷の蓄積を解消することができず、数周期後には電荷は飽和量まで蓄積されることになる。

【0031】図7はこの発明の実施の形態3に関するRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。実施の形態3においても図1に示されたECRエッチング装置が用いられる。

【0032】実施の形態3において用いられるRF電力は周期的に変動し、その周期T4は互いに振幅が異なる第1種のサブ周期群284及び第2種サブ周期群274によって構成される。第1種のサブ周期群284は振幅が零であり、互いに期間の異なる第1種のサブ周期284a、284b（いずれもOFF期間）から構成され、第2種のサブ周期群274は振幅及び期間の等しい第2種のサブ周期274a、274b（いずれもON期間）から構成される。これらのサブ周期274a、284a、274b、284bはこの順に交代に出現する。

【0033】以上のようにRF電力は、そのON/OFFがPCM (Pulse Code Modulation) 変調されており、換言すればONの期間が一定でありOFFの期間が

周期的に長くなったり短くなったりしている。

【0034】このようにしてRF電力が変動する周期T4において異なる長さの2つのOFF期間284a、284bを設けたので、その長い方の期間においてチャージアップを緩和する一方、他方の期間を短くすることによってエッチングレートの低下を抑制することができる。換言すれば図4に示された場合と比較してチャージアップが小さく、図5に示された場合と比較してエッチングレートが高いという効果が得られる。

【0035】実施の形態4．RF電力が周期的に変動する場合において、異なる期間を有するのはOFF期間ではなく、ON期間であっても良い。図8はこの発明の実施の形態4に関するRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。実施の形態4においても図1に示されたECRエッチング装置が用いられる。

【0036】RF電力の周期T5は互いに振幅が異なる第1種サブ周期群275及び第2種のサブ周期群285によって構成される。第1種のサブ周期群275は振幅が等しく期間の異なる第1種のサブ周期275a、275b（いずれもON期間）から構成され、第2種のサブ周期群285は振幅が零であり、互いに期間の等しい第2種のサブ周期285a、285b（いずれもOFF期間）から構成される。これらのサブ周期275a、285a、275b、285bはこの順に交代に出現する。

【0037】以上のようにRF電力は、そのON/OFFがPWM (Pulse Width Modulation) 変調されており、換言すればOFFの期間が一定でありONの期間が周期的に長くなったり短くなったりしている。

【0038】このようにしてRF電力が変動する周期T5において異なる長さの2つのON期間275a、275bを設けたので、その短い方の期間においてチャージアップを緩和する一方、他方の期間を長くすることによってエッチングレートの低下を抑制することができる。換言すれば図4に示された場合と比較してチャージアップが小さく、図5に示された場合と比較してエッチングレートが高いという効果が得られる。

【0039】実施の形態5．図9はこの発明の実施の形態5に関するRF電力の波形を示すグラフである。実施の形態5においても図1に示されたECRエッチング装置が用いられる。但しRF電力供給装置30は単にRF周波数の変調、パルスのON/OFFを行うのみならず、直流成分の重畳をも行うことができる構成を有している。かかる構成は、例えば任意波形発生器と高速広帯域電力増幅器とを用いて実現することができる。

【0040】RF成分のパルスのON周期のスタート時を $t=0$ とすると、RF電力供給装置30の出力側に印加される電圧は、 $V=A\sin(\omega t+\alpha)+V_0$ で表すことができる。ここで、AはRF電力の振幅、 $\omega$ はRF電力の角周波数、 $\alpha$ は初期位相、 $V_0$ は電圧の中心値

(直流成分)である。例えば $V_0 = -A \sin(\alpha)$ とすると、スタート時の電圧 $V$ は零となる。

【0041】図9(a)～(d)はそれぞれ $\alpha = 0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ の場合のRF電力の電圧 $V$ を示している。但しパルスのON周期においてRF成分はその一周期だけ存在する。RF電力が直流成分に対してパルス状にRF成分が重畳する場合、そのRF成分の初期位相 $\alpha$ を変化させることはチャージアップの低減や選択比の制御に効果的である。

【0042】図10はノッチ量の初期位相依存性を示すグラフである。RF電力を印加しない場合(図中破線で表示)と比較すると、パルスのRFの印加によりノッチ量は低減されているが、その低減量は初期位相 $\alpha$ の値によって異なる。例えば初期位相 $\alpha$ が $90^\circ$ のときはRF電力の印加によってイオンは基板方向に加速されるが、電子は減速され電子電流が減少する。このためパターンの側壁のチャージングは低減されるが、底部における正のチャージは解消されず、ノッチの改善効果は低い。これに対し初期位相 $\alpha$ が $270^\circ$ のときには電子の減速電界が弱まるため、パターン底部のチャージが低減されノッチが大幅に改善される。

【0043】図11は選択比の初期位相依存性を示すグラフである。RF電力を印加しない場合(図中破線で表示)と比較すると、パルスのRFの印加により選択比は低減する(悪化する)が、その低減量は初期位相 $\alpha$ の値によって異なる。例えば初期位相が $90^\circ$ のときには最も低減量が多く、初期位相 $\alpha$ が $270^\circ$ のときには低減量が抑制される。

【0044】つまりノッチ量や選択比を良好にしたい場合には、RF成分が重畳する範囲の電圧 $V$ において、直流成分よりも正となる領域の方が直流成分よりも負となる領域よりも大きくなるように、初期位相 $\alpha$ を $180^\circ \sim 360^\circ$ に、特に望ましくは $270^\circ$ に設定する。

【0045】図12はCDゲイン(Critical Dimension Gain)の初期位相依存性を示すグラフである。図13はCDゲインを説明する断面図である。基板101上に設けられた被エッチング膜102はレジスト103をマスクとしてエッチングされる。ここでレジスト103の幅、被エッチング膜102の底部の幅をそれぞれ $t_1$ ,  $t_2$ とするとCDゲインは $t_2 - t_1$ で求められる。RF電力を印加しない場合(図中破線で表示)と比較すると、パルスのRFの印加によりCDゲインは改善されているが、その改善度は初期位相 $\alpha$ の値によって異なる。例えば初期位相 $\alpha$ が $90^\circ$ のときに最も改善され、 $270^\circ$ のときの改善度は低い。

【0046】図14はエッチングレートの初期位相依存性を示すグラフである。RF電力を印加しない場合(図中破線で表示)と比較すると、パルスのRFの印加によりエッチングレートは増大するが、その増大量は初期位相 $\alpha$ の値によって異なる。例えば初期位相が $90^\circ$ の

ときには最も増大量が多く、初期位相 $\alpha$ が $270^\circ$ のときには増大量は少ない。

【0047】つまりCDゲインやエッチングレートを良好にしたい場合には、RF成分が重畳する範囲の電圧 $V$ において、直流成分よりも正となる領域の方が直流成分よりも負となる領域よりも小さくなるように、初期位相 $\alpha$ を $0^\circ \sim 180^\circ$ に、特に望ましくは $90^\circ$ に設定する。

【0048】以上の説明からわかるように、初期位相 $\alpha$ を制御することにより所望のエッチング特性を得ることができる。また同様に、初期電圧 $V_0$ を変えることも、チャージアップ、選択比、CDゲイン、エッチングレートなどの制御に効果的である。

【0049】実施の形態6. RF電力が直流成分に対してパルス状にRF成分が重畳する場合、RF成分が複数の周期を含んでいても良い。

【0050】図15は実施の形態6において用いられるECREッチング装置を示す断面図である。図1に示された構成と比較して、RF電力供給装置30がブロッキングコンデンサ29を介してステージ6に接続されている点のみ異なっている。

【0051】図16(a)(b)は周期の数 $k$ が2の場合において、ステージ6の電位変化を初期位相 $\alpha$ が $0^\circ$ 及び $90^\circ$ のときについてそれぞれ示すグラフである。

【0052】ステージ6はブロッキングコンデンサ29を介してRF電力供給装置30に接続されているため、RF電力を印加しない期間においてはステージ6の電位はフローティング電位 $V_f$ を採る。図17は連続的にRF電力を印加した場合のステージ6の電位を示すグラフである。ステージ6の電位の最大値がフローティング電位 $V_f$ を越える量は、最小値がフローティング電位 $V_f$ を下回る量よりも少ない。周期の数 $k$ が増加するに従い、ステージ6の電位変化は初期位相 $\alpha$ に対する依存性が低くなり、図17のグラフに近づく。つまり、イオンをステージ6へと引き込む回数が増大する。従って初期位相 $\alpha$ が同じ場合には、周期の数 $k$ が増加するのに従ってイオンエネルギーは増大し、ノッチ量が減少し、選択比も低下する。

【0053】このようにRF電力がパルス状にONする期間における周期の数 $k$ や初期位相 $\alpha$ を設定することによって、ノッチ量や選択比を制御することが可能となる。勿論、連続的にRF電力を印加した場合であっても、その電圧もしくは電力を設定することのみによってイオンエネルギーの制御を行うことも可能であるが、周期の数 $k$ 及び初期位相 $\alpha$ をも調整することにより、一層細かい制御を行うことが可能となる。

【0054】実施の形態7. 図18はこの発明の実施の形態7に関するRF電力の波形を示すグラフである。実施の形態7においても図15に示されたECREッチング装置が用いられる。但し $\mu$ 波電源80はパルス状に

(間欠的に)  $\mu$ 波19を発生する。

【0055】 $\mu$ 波19をパルス状にプラズマ反応装置に導入することによってノッチ量を低減できることは、Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996)p2450 等によって示されている。本実施の形態では、このようなパルス状の $\mu$ 波を用いてプラズマを生成するのみならず、実施の形態5及び実施の形態6で示したパルス状のRF電力をステージ6に与える。このような2つの技術の組み合わせにより、エッチング特性の改善(例えばノッチ量の低減)の効果は著しく増大する。

【0056】図18は $\mu$ 波19とRF電力との関係を示すタイミングチャートである。RF成分が直流値(ここではフローティング電位Vf)に重畳し始める時点が、 $\mu$ 波19が間欠的にONし始める時点から遅延する時間 $t_0$ を制御することによって、ノッチ量を制御することができると同時に微少なイオンエネルギーを制御することが可能となる。図19は遅延時間 $t_0$ とノッチ量との関係を示すグラフである。ここで $\mu$ 波の周期をT(デューティ50%)、RF成分が直流値に重畳する期間を $\tau$ (初期位相 $\alpha=0^\circ$ )とする。グラフからわかるように、RF成分を直流値に重畳するタイミングを $\mu$ 波のOFFする期間の終わりの近傍に設定すれば、ノッチ量を低減する効果が著しい。

【0057】かかるタイミングにおいてプラズマ密度が薄くなり、プラズマ密度が薄いと電子の量も少ない。よってRF成分のパワーにおいて差がなければ、一つの電子に与えられるパワーが最も大きくなる。このためパターンの底部に入り込んで電荷を相殺する効果が最も顕著に得られることになる。

【0058】以上の実施の形態においてはECRエッチング装置について説明が行われたが、本発明の適用はこれに限定されるものではなく、試料に印加されるRF電力とは別途にプラズマが生成されるエッチング装置(例えばICP: Induced Coupled Plasma)を採用したエッチング装置)のすべてに有効である。勿論、RF電力の周波数や電圧の制御が、ノッチ量や、イオンエネルギーの制御に有効であることはいうまでもない。

【0059】

【発明の効果】この発明のうち請求項1にかかるプラズマ反応装置によれば、RF電力が高い周波数を有する期間において生じた電荷の蓄積を、RF電力が低い周波数を有する期間で緩和することができる。これと共に、低い周波数のRF電力のみを印加する場合に問題となるエッチングレートの低下を、RF電力が高い周波数を有する期間において緩和できる。

【0060】この発明のうち請求項2にかかるプラズマ反応装置によれば、RF電力が変動する一周期において、第1種のサブ周期は互いに長さが異なるので、その一方の期間においてチャージアップを緩和しつつ、他方の期間においてエッチングレートの低下を抑制すること

ができる。

【0061】この発明のうち請求項3にかかるプラズマ反応装置によれば、初期位相を $180^\circ \sim 360^\circ$ に設定することにより、RF成分が重畳する範囲において、直流成分よりも正となる領域の方が直流成分よりも負となる領域よりも大きくなり、ノッチ量や選択比を良好にすることができる。また初期位相を $0^\circ \sim 180^\circ$ に設定することにより、RF成分が重畳する範囲において、直流成分よりも正となる領域の方が直流成分よりも負となる領域よりも小さくなり、CDゲインやエッチングレートを良好にすることができる。

【0062】この発明のうち請求項4にかかるプラズマ反応装置によれば、 $\mu$ 波を間欠的にプラズマ反応装置に導入することによってノッチ量を低減できる上、RF電力も間欠的にステージに与えられるので、エッチング特性の改善の効果が著しく増大する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1にかかるECRエッチング装置を示す断面図である。

20 【図2】 この発明の実施の形態1に関するRF電力の波形を示すグラフである。

【図3】 この発明の実施の形態2に関するRF電力の波形を示すグラフである。

【図4】 パルス化されたRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。

【図5】 パルス化されたRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。

30 【図6】 パルス化されたRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。

【図7】 この発明の実施の形態3に関するRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。

【図8】 この発明の実施の形態4に関するRF電力のON/OFF期間と、チャージアップ量との関係を示すタイミングチャートである。

40 【図9】 この発明の実施の形態5に関する電圧Vの波形を示すグラフである。

【図10】 ノッチ量の初期位相依存性を示すグラフである。

【図11】 選択比の初期位相依存性を示すグラフである。

【図12】 CDゲインの初期位相依存性を示すグラフである。

【図13】 CDゲインを説明する断面図である。

【図14】 エッチングレートの初期位相依存性を示すグラフである。

50 【図15】 実施の形態6にかかるECRエッチング装

置を示す断面図である。

【図16】 ステージ6の電位変化を初期位相に対して示すグラフである。

【図17】 連続的にRF電力を印加した場合のステージ6の電位を示すグラフである。

【図18】 この発明の実施の形態7に関するRF電力の波形を示すグラフである。

【図19】 遅延時間 $t_0$ とノッチ量との関係を示すグラフである。

【図20】 従来のECRエッチング装置を示す断面図

である。

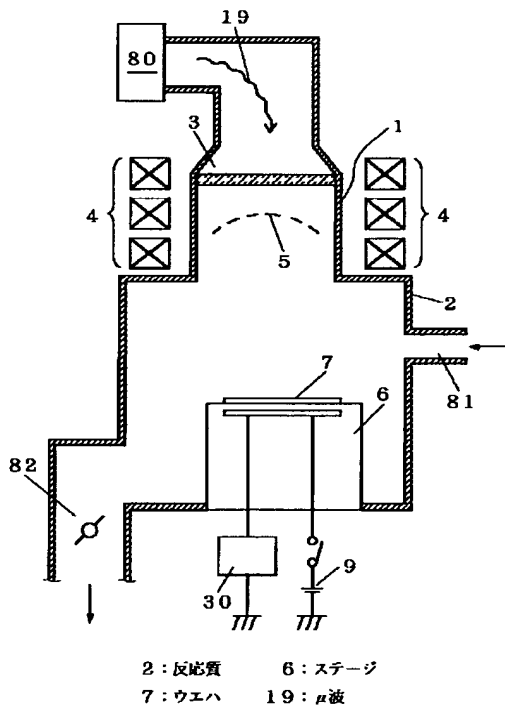
【図21】 チャージアップ形状異常を説明する断面図である。

【図22】 チャージアップ形状異常を説明する断面図である。

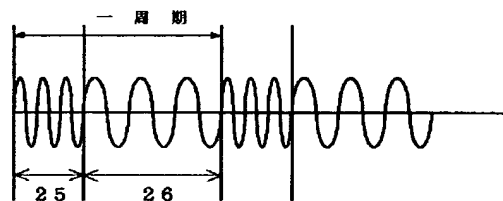
【符号の説明】

2 反応室、6 ステージ、7 ウエハ、19  $\mu$ 波、284a, 284b, 275a, 275b 第1種のサブ周期、274a, 274b, 285a, 285b 第2種のサブ周期、 $\alpha$  初期位相。

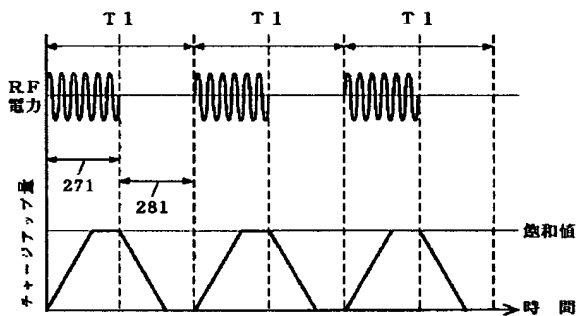
【図1】



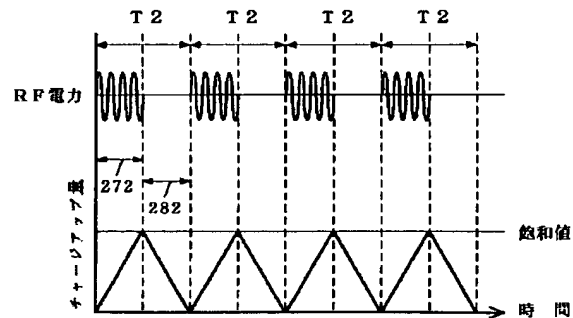
【図2】



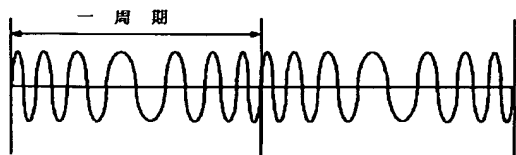
【図4】



【図5】

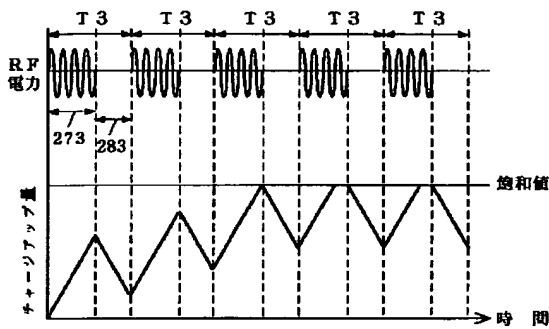


【図3】

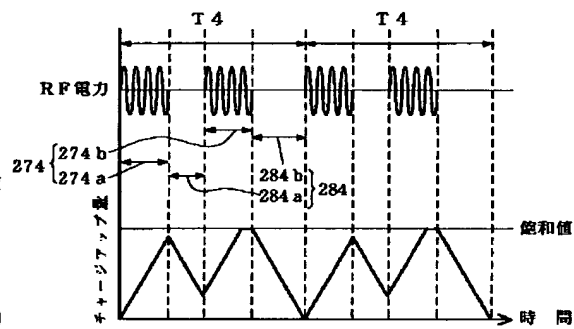




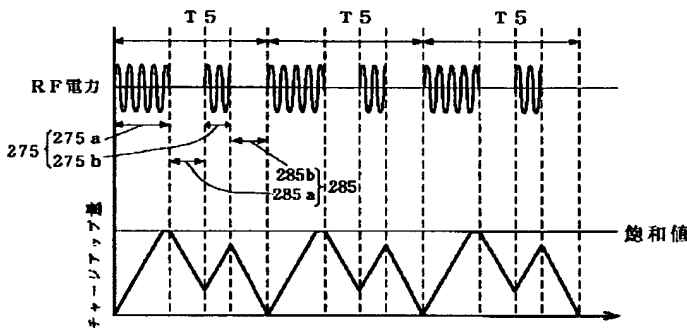
【図6】



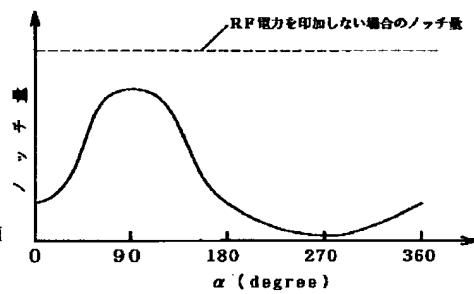
【図7】



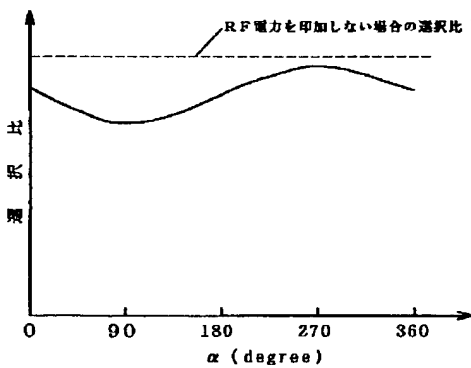
【図8】



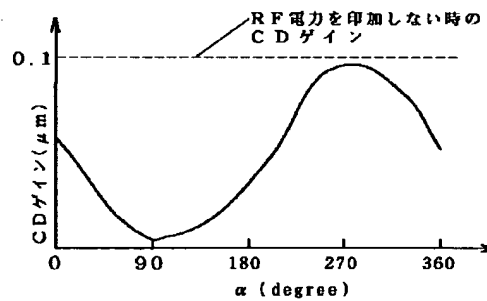
【図10】



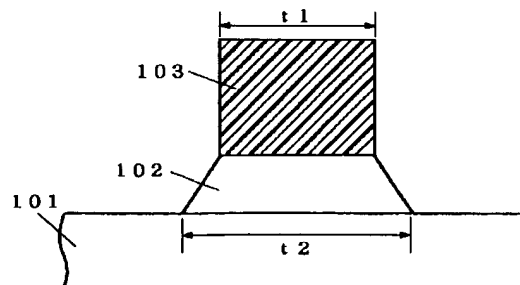
【図11】



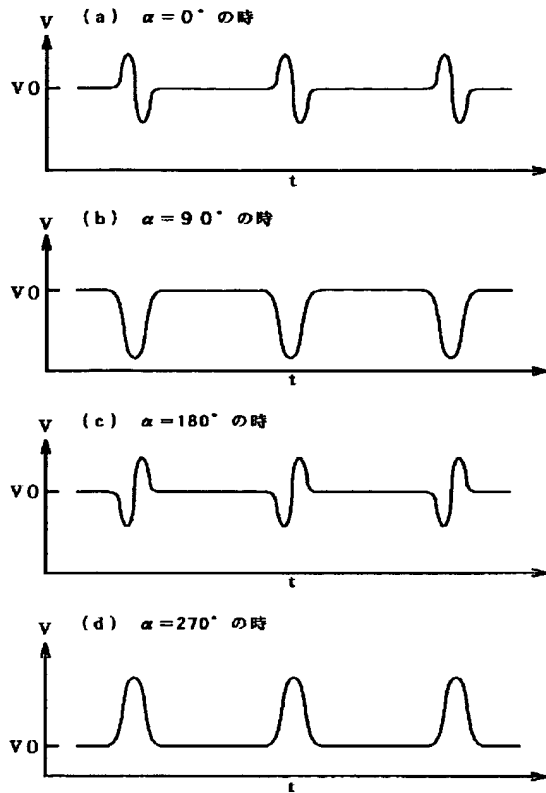
【図12】



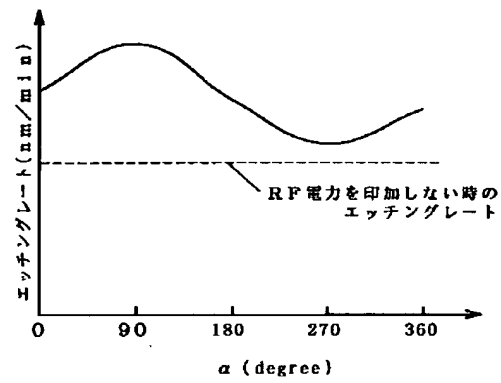
【図13】



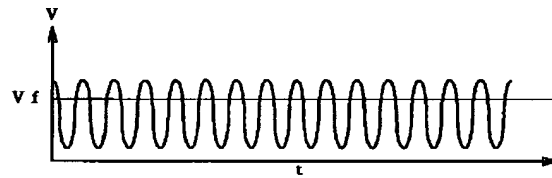
【図9】



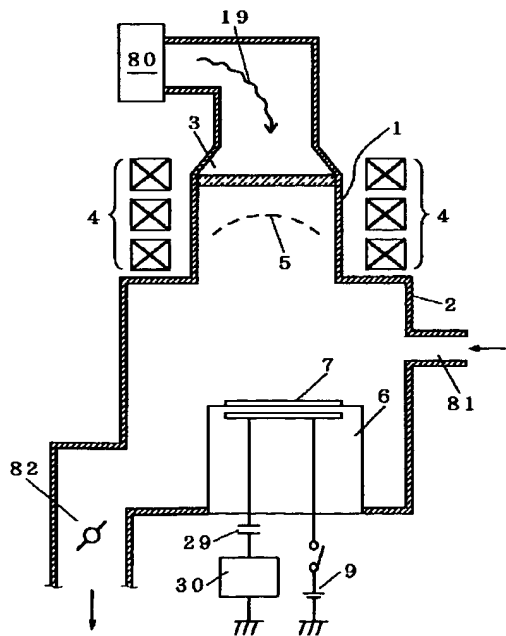
【図14】



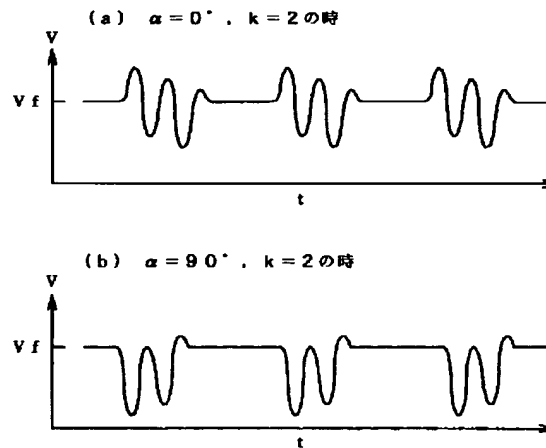
【図17】



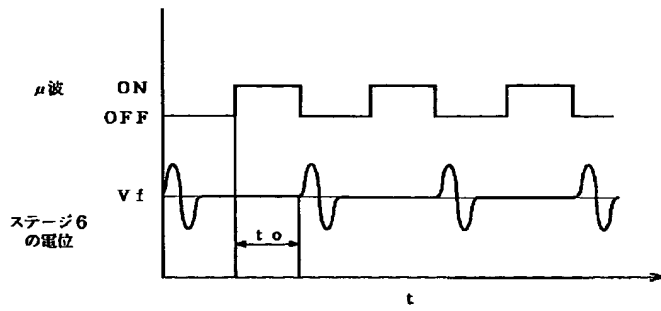
【図15】



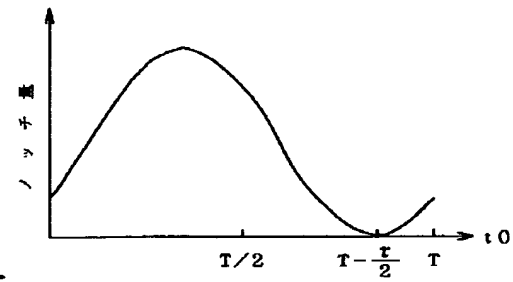
【図16】



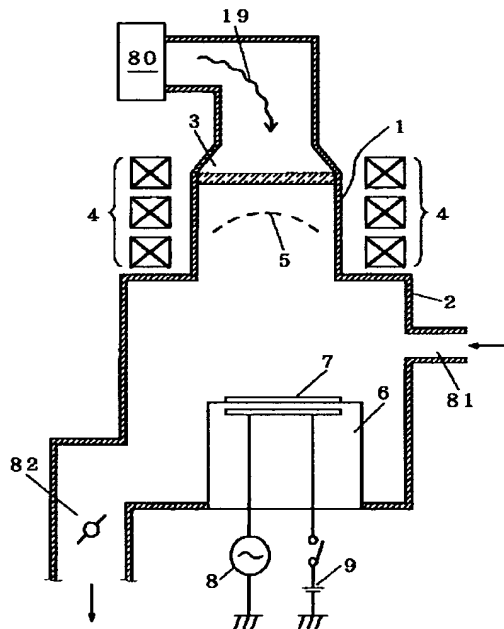
【図18】



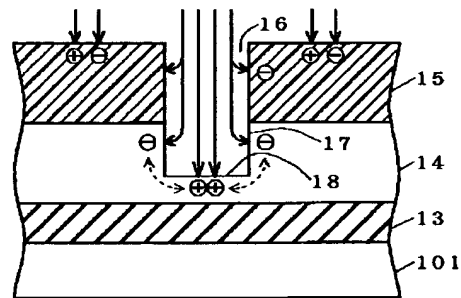
【図19】



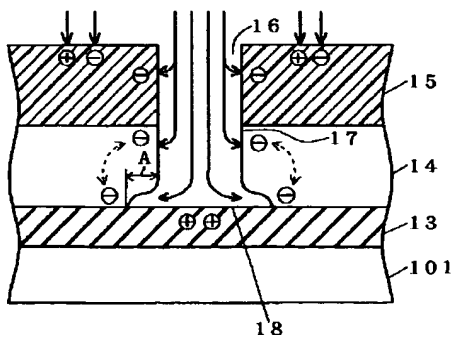
【図20】



【図21】



【図22】



DERWENT-ACC-NO: 1998-373226  
DERWENT-WEEK: 200274  
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Plasma reactor for dry etching apparatus - applies RF  
electric power  
with periodic variation where round period comprises two sub periods  
which have  
mutual frequency difference

INVENTOR: MARUYAMA, T; OGINO, S

PATENT-ASSIGNEE: MITSUBISHI ELECTRIC CORP[MITQ],  
MARUYAMA T[MARUI], OGINO  
S[OGINI], MITSUBISHI DENKI KK[MITQ]

PRIORITY-DATA: 1996JP-0309141 (November 20, 1996)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES
MAIN-IPC			
US 6471821 B2	October 29, 2002	N/A	000
C23C 016/00			
JP 10150025 A	June 2, 1998	N/A	010 H01L
021/3065			
US 20020066537	June 6, 2002	N/A	000
A1		C23F 001/02	

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
US 6471821B2	N/A	1997US-0848881 May 1, 1997
JP 10150025A	N/A	1996JP-0309141
November 20, 1996		